Aus der medizinischen Abteilung des Tiefenauspitals der Stadt Bern
(Chefarzt: Dozent *W. Hadorn*)

Untersuchungen über den Einfluß der Gasmaskenatmung auf die Herzstromkurve und den Kreislauf des Menschen

INAUGURAL-DISSERTATION
zur
Erlangung der Würde eines Doktor medicinae
der Universität Bern

Vorgelegt von
HANS SCHÜTZ
von Sumiswald (Bern)

Bern 1943

Druck von Benno Schwabe & Co. Basel

Aus der medizinischen Abteilung des Tiefenauspitals der Stadt Bern
(Chefarzt: Dozent *W. Hadorn*)

Untersuchungen über den Einfluß der Gasmaskenatmung auf die Herzstromkurve und den Kreislauf des Menschen

INAUGURAL-DISSERTATION
zur
Erlangung der Würde eines Doktor medicinae
der Universität Bern

Vorgelegt von
HANS SCHÜTZ
von Sumiswald (Bern)

Bern 1943

Druck von Benno Schwabe & Co. Basel

Auf Antrag des Herrn Prof. Dr. *A. Schüpbach*
zum Druck als Dissertation genehmigt

Bern, den 20. Februar 1943

Der Dekan der med. Fakultät: Prof. Dr. *A. von Muralt*

R. UNIV. BIBLIOTHEEK LEIDEN

Separatdruck aus den «Helvetica Medica Acta» Band 10, Heft 6, 1943

Literatur und Problemstellung

Im Verlauf der letzten Jahre sind mehrfach typische Anfälle von Angina pectoris, welche in unmittelbar zeitlichem Zusammenhang mit körperlichen Uebungen in der Gasmaske aufgetreten waren, beschrieben worden.

So berichtet *Lucke* über drei im Sklerosealter stehende Männer, bei denen im Anschluß an eine Luftschutzübung in der Maske Anfälle von echter Angina pectoris auftraten. In einem Fall konnten die Beschwerden nach sechsmonatiger Behandlung beseitigt werden; in den andern beiden Fällen jedoch entwickelte sich eine progressive Herzinsuffizienz. Allen drei Fällen war gemeinsam, daß es sich zweifellos um latent koronarkranke Menschen handelte, und daß sie Berufsgruppen angehörten, in denen schwere Arbeit nicht in Betracht kam. *Lucke* ist der Ansicht, daß schon das Tragen einer Maske für Koronarkranke und Koronarbedrohte Bedingungen schaffe, auf die sich das geschädigte Kreislaufsystem nicht voll einzustellen vermöge, so daß unmittelbare Schädigungen und Gefahren auftreten können. Das Tragen einer Gasmaske bedeute in erster Linie eine Drosselung der Luft- und somit der Sauerstoffzufuhr. Während dies für einen Gesunden keinerlei Einschränkung seiner Arbeitsfähigkeit und keinerlei Gefahr bedeute, sei die ausreichende Sauerstoffzufuhr bei einem koronarkranken Menschen nicht mehr gewährleistet, so daß es zu bedrohlicher Anoxie des Herzens und zu plötzlicher oder allmählicher Herzmuskelinsuffizienz kommen könne.

Hofer berichtet über zwei Begutachtungsfälle des Tiefenauspitals Bern, bei denen die Frage abzuklären war, ob zwischen den anginösen Beschwerden der Exploranden und der Benützung der Gasmaske ein ätiologischer Zusammenhang angenommen werden müsse. Im ersten Fall handelte es sich um einen Mann von 51 Jahren, der seit einer anstrengenden Gasmaskenübung an Angina pectoris litt. In der Beurteilung kam *Hofer* zum Schluß, daß ein Kausalzusammenhang zwischen der Erkrankung und der Gasmaskenatmung nicht von der Hand zu weisen sei, um so mehr, als bei dem im Sklerosealter stehenden Mann noch eine leicht komprimierende, retrosternale Struma festgestellt worden war, so daß die Annahme einer Hypoxie als Folge der Gasmaskenatmung durchaus berechtigt schien. Im zweiten Fall waren bei einem 59jähr. herzkranken Mann nach einer Arbeitsbelastung in der Gasmaske Angina pectoris ambulatoria und bedeutend verstärkte kardiale Beschwerden aufgetreten, und er litt seither an manifester Herzinsuffizienz. Auch hier konnte der Zusammenhang zwischen der Gasmaskenübung und der Verstärkung der schon vorher bestehenden leichten Herzbeschwerden nicht zurückgewiesen werden.

Diese Begutachtungsfälle veranlaßten *Hofer*, den Einfluß der Gasmaskenatmung auf den menschlichen Kreislauf und speziell auf den Ablauf der Herzstromkurve systematisch zu untersuchen. Dabei sollte in den Arbeitsversuchen mit der Maske besonders auf Veränderungen der Herzstromkurve geachtet werden, die auf Anoxie bzw. Koronarinsuffizienz verdächtig gewesen wären. Zugleich sollten die Resultate ähnlicher, bereits vorliegender Arbeiten verglichen und beurteilt werden.

So hatten *Plügge* und *Büttner* eingehende Untersuchungen über den Einfluß der Schutzmaskenatmung auf das Elektrokardiogramm angestellt. Sie fanden nach schwerer Belastung in der Gasmaske eine anfängliche Verlängerung der Ueberleitungszeit bis zu 0,22 Sekunden; der QRS-Komplex wurde kürzer, die T-Zacken höher und spitzer. Sofort nach Belastung trat für Sekunden eine Verkleinerung des Kammerkomplexes bis auf $\frac{1}{4}$ oder $\frac{1}{5}$ der ursprünglichen Zackengröße auf. Diese Veränderungen waren immer zu finden und wurden deshalb als *Standardreaktion* bezeichnet. Bei Versuchspersonen mit hypertoner Reaktion kam es bei maximaler Belastung neben der Standardreaktion in den ersten Sekunden der Registrierung zu hohem Abgang der ST-Strecke, wie bei Koronarinfarkt, zu Extrasystolen und schwerer Dyspnoe.

Die aufgetretenen Veränderungen wurden noch als im Bereich der Norm bezeichnet und der Schluß gezogen, daß bei Kreislaufgesunden auch unter starker Belastung bei Gasmaskenatmung keine Hypoxie des Myokards auftrete. Die Höhenabnahme der QRS-Zacken, welche sonst als Zeichen schwerer Myokardschädigung gilt, deuteten die Autoren wegen Fehlens einer Koronarwelle nicht als Herzschädigung. Für die Verlängerung der Ueberleitungszeit wurde erhöhter Vagustonus oder eine vorübergehende Störung im Reizleitungssystem verantwortlich gemacht.

Zettel und *Fink* hatten 20 Personen im Alter von 24 bis 28 Jahren mit 25 Pfund Gepäck in der Gasmaske einen Dauerlauf mittleren Tempos von einer Minute Dauer durchführen lassen und dabei folgendes beobachtet: Die Ueberleitungszeit war meist etwas verkürzt; die QRS-Breite zeigte in den meisten Fällen keine Veränderung; R in Abl. I war stets wesentlich erniedrigt; die S-Zacke war häufig vertieft; T1 war in den meisten Fällen abgeflacht, T2 und T3 höher und spitzer, oft jedoch auch abgeflacht. Die Veränderungen an den Herzstromkurven wurden auf Sauerstoffmangel zurückgeführt, und waren manchmal schon in Ruhe unter der Maske zu beobachten.

Die Autoren hatten es leider unterlassen, neben dem Belastungsversuch mit der Gasmaske auch den entsprechenden Versuch ohne Maske auszuführen, so daß die beschriebenen Veränderungen in der Herzstromkurve nicht unbedingt auf die Maskenatmung zurückgeführt werden dürfen, da diese bei gleicher Belastung auch ohne Maske hätten auftreten können. Dies gilt besonders für die Größenänderungen der R- und S-Zacken, die nach Belastung in fast allen Herzstromkurven zu beobachten und z. T. positionsbedingt, z. T. Ausdruck erhöhter Sympathikustonisierung sind. Ebenso darf von einer Verkürzung der Initialschwankung nur dann gesprochen werden, wenn sie sich auch beim Vergleich mit den Werten aus dem entsprechenden Belastungsversuch ohne Maske ergibt, und nicht nur durch die Erhöhung der Herzfrequenz bedingt ist[1]).

---

[1]) Während der Korrektur dieser Arbeit erschien eine neue Arbeit von *Zettel*. Er belastete 20 Versuchspersonen im Alter von 17 bis 65 Jahren mit 15 bis 30 Kniebeugen oder 30 Stufen Treppensteigen unter der Maske. Unter den Versuchspersonen befanden sich 9 Hypertoniker, 6 Hypotoniker (postoperative Kreislaufschwäche) und 5 kompensierte Herzfehler. Wesentliche Unterschiede gegenüber der zusammen mit *Fink* veröffentlichten Arbeit traten nicht zu Tage. Bei der Mehrzahl kam es zu Pulsbeschleunigung und Blutdrucksteigerung, bei Hypertonikern konnte eine Abweichung von diesem Verhalten eintreten. P, teilweise verkleinert, selten vergrößert, wurde bei Mitralfehlern deutlich größer; R war nach Belastung fast immer erheblich verkleinert; ST war teils gesenkt, teils erhöht, eine Koronarwelle wurde nicht beobachtet; T war nach Belastung meist deutlich abgeflacht. – Als Ursache für die Veränderungen wird verringerte Sauerstoffzufuhr angenommen. Belastung unter der Maske bedeute eine erhebliche Mehrbeanspruchung der Herzmuskulatur

Hofer untersuchte 50 gesunde oder rekonvaleszente Personen im Alter von 16 bis 65 Jahren. Um genaue Vergleichsmöglichkeiten zu haben, stellte er von jeder Versuchsperson je ein Ruhe-Elektrokardiogramm mit und ohne Gasmaske und je ein Arbeits-Ekg. mit und ohne Gasmaske her. Die Belastung bestand darin, daß die Versuchsperson in möglichst raschem Tempo 2mal 48 Stufen steigen mußte.

Parallel zu diesen Untersuchungen führte *Hofer* auch eine Regulationsprüfung des Kreislaufes nach *Schellong* aus, welche neben der Ermittlung des Einflusses der Maskenatmung auf das Kreislaufsystem durch den schnelleren Papiertransport im Elektrokardiographen auch eine genaue Ausmessung der QRS-Breite ermöglichte. Dies war wichtig im Hinblick auf die Angaben von *Plügge* und *Büttner*, die in ihrer Standardreaktion eine Verkürzung des QRS-Komplexes geschildert hatten.

Irgendwelche spezifische Veränderungen im Ekg. oder eine typische Kreislaufwirkung, die als Folge der Maskenatmung hätte aufgefaßt werden können, sah *Hofer* in seinen Versuchen nicht. Vor allem traten bei den Arbeitsversuchen in der Gasmaske keine Veränderungen in der Herzstromkurve auf, die auf Anoxie hingewiesen hätten. Die festgestellten geringfügigen Veränderungen in allen Kurvenabschnitten, wie sie sich oft schon im Ruhe-Ekg. mit aufgesetzter Maske und in verstärktem Maße nach dem Arbeitsversuch in der Maske zeigten, waren von der Art, wie sie als Folge körperlicher Arbeit bereits bekannt sind. Insbesondere konnte eine Verkleinerung des QRS-Komplexes sofort nach Arbeit nie beobachtet werden. Ferner wurden eine deutliche Verkürzung der Initialschwankung und die starke Verlängerung der Ueberleitungszeit bis zu 0,22 Sekunden nie gesehen, wie auch der bei jugendlichen Hypertonikern beobachtete hohe Abgang der ST-Strecke nicht angetroffen wurde. Die von *Hofer* beschriebenen Veränderungen der ST-Strecke waren geringfügig und gingen über das Maß der am gesunden Herzen gesehenen Veränderungen nicht hinaus.

Daß *Hofer* keine stärkeren Veränderungen in den Herzstromkurven beobachten konnte, schrieb er dem Umstand zu, daß die Belastung zu gering war, und daß die Versuche hauptsächlich mit jüngeren Individuen und nur vereinzelt mit Sklerotikern durchgeführt worden waren.

Da die vorliegenden Untersuchungsergebnisse keineswegs übereinstimmten und die Ansichten über genügende oder ungenügende Sauerstoffversorgung des Herzmuskels bei Belastung unter der Maske auseinander gingen, schien es angezeigt, die Frage nach dem Einfluß der Maskenatmung auf das Kreislaufsystem noch einmal zu untersuchen, um so mehr, als der Gebrauch der Schutzmaske heute nicht nur im Militärdienst, sondern auch bei der Zivilbevölkerung eine Notwendigkeit geworden ist. Das Problem ist auch aus dem Grunde aktuell, weil die Maske neuerdings zu therapeutischen Zwecken herangezogen wurde[2]).

---

und somit eine Gefährdung für latent Herzkranke. – Der Autor unterließ es, neben dem Belastungsversuch mit der Gasmaske auch den entsprechenden ohne Maske auszuführen, so daß der bereits gemachte Einwand auch hier am Platze ist.

[2]) *Hadorn* versuchte, bei Patienten mit Mitralfehlern durch tägliches kurzes Aufsetzen der Maske das rechte Herz zu entlasten. *Gukelberger* konnte laut mündlicher Mitteilung bei Militärpatienten die Heilung von Bronchitiden dadurch beschleunigen, daß er, nach Stillung des Hustenreizes mit Codein, die Leute täglich für kurze Zeit körperliche Uebungen unter der Gasmaske ausführen ließ.

den, mit aufgesetzter Maske in 1 Minute 35 Sekunden zurückgelegt; das Ersteigen von 3mal 72 Stufen erforderte durchschnittlich ohne Maske 2 Minuten 17 Sekunden, mit Maske 2 Min. 28 Sek.

Beim Stuhlsteigversuch war die Zeit bis zur Ermüdung je nach Alter und Konstitution verschieden lang; im Durchschnitt betrug sie 7 Min. 21 Sek. Die Summe der Steighöhen in dieser Zeit betrug etwa 100 Meter, was bei einem mittleren Körpergewicht von 65 kg einer Arbeit von 6500 mkg entspricht. Ein besonders durchtrainierter junger Mann (Gewicht 75 kg) stieg mit Leichtigkeit mit und ohne Gasmaske jedesmal 15 Min. lang und vollbrachte in dieser Zeit die gewaltige Arbeit von 15 187,5 mkg, was einer Leistung von 1012,5 mkg pro Minute entspricht.

Bei zwei Patienten mußte der Belastungsversuch wegen starken Erstickungsgefühls vorzeitig abgebrochen werden; drei weitere Personen vermochten infolge der rascher eintretenden Ermüdung nicht gleiche Arbeit zu leisten wie ohne Maske. Die während und nach der Belastung auftretende Dyspnoe war unter der Maske begreiflicherweise stärker ausgeprägt und steigerte sich vor allem unmittelbar nach dem Hinlegen auf den flachen Untersuchungstisch oft bis zum Erstickungsgefühl, das aber durch disziplinierte, vertiefte Atmung überwunden werden konnte[4]). Nur eine Versuchsperson riß sich für kurze Zeit die Maske vom Gesicht herunter.

Ein Pat. klagte nach dem Arbeitsversuch in der Maske über stechende Schmerzen in der Herzgegend und starkes «Herzklopfen»; bei einer Pat., die einige Wochen vorher einen Scharlach durchgemacht und dabei vorübergehend einen elektrokardiographisch festgestellten Myokardschaden davongetragen hatte, traten nach dem Arbeitsversuch Druckgefühl auf der Brust, Schlappheit, Uebelkeit und schlechtes Aussehen auf.

Der Schweißausbruch, der sich nach der Belastung regelmäßig mehr oder weniger ausgeprägt einstellte, war beim Versuch in der Maske deutlich verstärkt, ein Umstand, der sich durch die verminderte Möglichkeit der Wärmeabgabe unter der Gesichtsmaske leicht erklärt.

5. Untersuchungsergebnisse. Die Untersuchung der 29 gewöhnlichen Ruhe-Ekg.[5]), wie sie von jeder Versuchsperson vorerst aufgenommen wurden, ergab folgende Verhältnisse:

Die Ueberleitungszeit PQ war in allen Fällen normal (0,12 bis 0,2 Sek.). Die Zeit der Initialschwankung QRS überstieg nirgends 0,1 Sekunden (Grenzwert bei 0,11 Sek.). Die Zeit QT lag in allen 29 Fällen innerhalb der von *Fridericia* errechneten Maximalwerte.

---

[4]) Diese Erscheinung ist leicht zu erklären, wenn wir die von *Guckelberger* gefundene Tatsache berücksichtigen, daß in horizontaler Lage das Einatmungsventil nicht mehr dicht schließt, so daß der Totraum der Maske um den Inhalt des Schlauches und des Filters vergrößert wird.

[5]) Die Ruhe-Ekg. wurden bei den 2 Personen mit Stuhl- und Treppensteigversuch nur einmal registriert.

Die Diagnosen der 29 Ruhe-Ekg. verteilen sich folgendermaßen:

Normale Ekg.	24
Positionslaevogramme	4
Myokardschaden	1

Unter den als normal bezeichneten Ekg. befanden sich: 1 Kurve mit sog. rundem Uebergang von R in die ST-Strecke in der II. und III. Ableitung; 2 Herzstromkurven, die zum Linkstypus bzw. Rechtstypus neigen; schließlich ein Ekg., bei dem die ST-Strecke in der II. Ableitung etwas gehoben und leicht muldenförmig verläuft.

A. Einfluß der Maskenatmung auf das Ruhe-Ekg.

a) *Rhythmus.* Die Maskenatmung in Ruhe ließ die Schlagfolge im allgemeinen unbeeinflußt. Deutliche Pulsirregularitäten in Form der Vagusarrhythmie wurden in vier Fällen beobachtet. In zwei dieser Fälle trat eine plötzliche starke Verlangsamung der Pulsfrequenz (Vagusbremsung) auf. Bei der einen Versuchsperson handelte es sich um einen Asthmatiker, also um einen Vagotoniker, so daß diese Erscheinung hier kaum verwundert.

b) Die Veränderungen der *Pulsfrequenz, Ueberleitungszeit, QRS-Dauer und QT-Dauer* sind graphisch dargestellt (Abb. 1).

c) *Vorhofschwankung.* Geringfügige Veränderungen an der Vorhofschwankung wurden in 9 Elektrokardiogrammen festgestellt. So war in einzelnen Ableitungen die P-Zacke um Bruchteile eines Millivolt vergrößert oder verkleinert. In drei Fällen wurde ein negatives P in III positiv. Ferner kam es vor, daß in einer der drei Ableitungen Spaltung der P-Zacke, Verstärkung einer angedeuteten Spaltung oder Verschwinden derselben auftrat.

Es sind dies Veränderungen, wie wir sie im Belastungs-Ekg. gelegentlich ebenfalls beobachten. Wir dürfen sie als einen Hinweis dafür auffassen, daß die Maskenatmung in Ruhe für das Herz eine Mehrarbeit bedeutet; doch könnte auch Vaguswirkung dafür verantwortlich gemacht werden.

d) *QRS-Komplex.* Veränderungen in der Anfangsschwankung wurden nach Aufsetzen der Gasmaske in 14 Versuchen festgestellt. Es handelt sich in den meisten Fällen um geringfügige Größenunterschiede der R- oder S-Zacken oder beider zusammen. Auch eine Verstärkung von bereits vorhandenen Aufsplitterungen und Spaltungen wurde beobachtet. In einem Fall verschwand eine leichte Knotung der R-Zacke in der II. Ableitung unter der Maske vollständig. Auch für diese Veränderungen gilt das unter c) am Schluß Gesagte.

e) *Zwischenstück ST.* In einem Fall mit etwas gehobener ST-Strecke in der II. und III. Ableitung verlief dieser Kurvenabschnitt nach Aufsetzen der Maske weniger gehoben. In einem weiteren Ekg. wies das Zwischenstück in der III. Ableitung bei Maskenatmung eine leichte muldenförmige Senkung auf. Sonst wurden keine Veränderungen festgestellt.

Koronarwelle nicht als eine Schädigung der Herzfunktion auf. Uns interessierte diese starke Verkleinerung des QRS-Komplexes aber um so mehr, als wir sie am gesunden Herzen nach Arbeit noch nie in dem Maße angetrof-

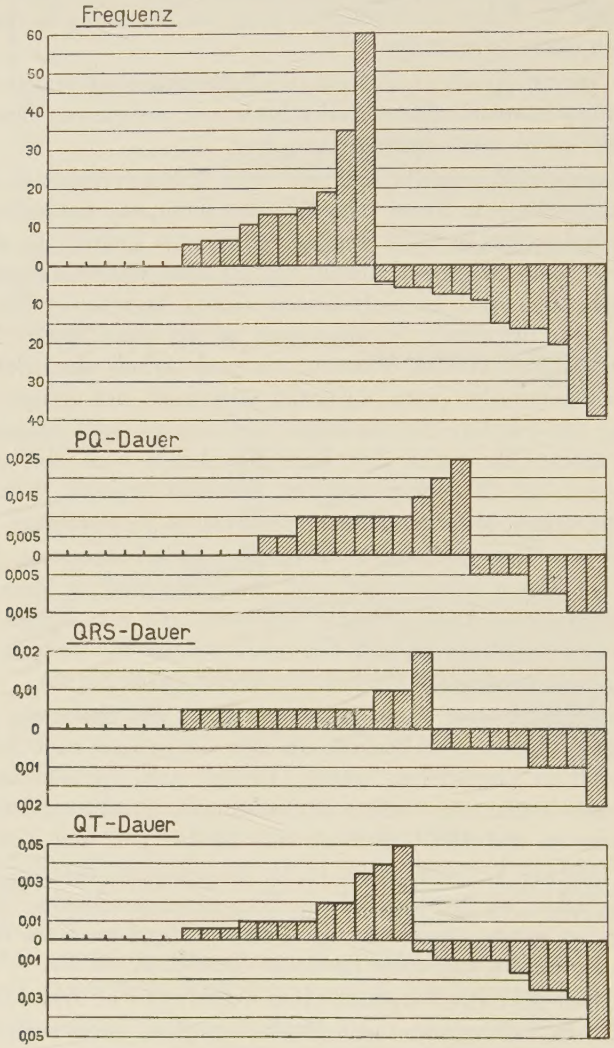

Abb. 2. Veränderung von Pulsfrequenz, Ueberleitungszeit, QRS-Dauer und QT-Dauer unmittelbar nach der Belastung unter der Gasmaske.
Die nach oben gerichteten Säulen bedeuten wiederum höhere Werte, die nach unten gerichteten Säulen niedrigere Werte als beim Versuch ohne Maske. Die Pulsfrequenz zeigt im Mittel eher eine geringe Herabsetzung; die QT-Dauer ist den Frequenzwerten entsprechend verlängert oder verkürzt; Ueberleitungszeit und QRS-Dauer sind wiederum unwesentlich verändert.

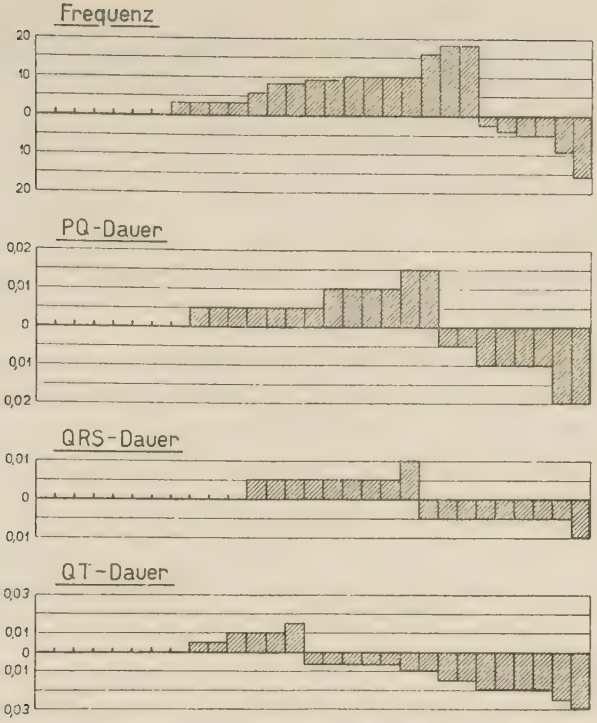

Abb. 3. Veränderung von Pulsfrequenz, Ueberleitungszeit, QRS-Dauer und QT-Dauer 10 Min. nach der Belastung mit der Gasmaske.

Die Pulsfrequenz ist in der Mehrzahl der Fälle etwas höher als im Versuch ohne Maske, die QT-Dauer ist entsprechend verändert. Ueberleitungszeit und QRS-Dauer weisen geringe Abweichungen auf.

fen hatten; wir glauben nicht, daß eine derartige Veränderung auf eine Lageänderung des Herzens nach Arbeit oder auf vertiefte Atmung zurückgeführt werden kann. Da eine Verkleinerung von QRS sonst nur noch bei starker Koronarsklerose, mit den entsprechenden Veränderungen von ST und T auch nach Herzinfarkt sowie gelegentlich etwa infolge Zunahme des Hautwiderstandes durch die Austrocknung der Elektrodenhüllen beobachtet wird, überrascht uns der Befund bzw. dessen Interpretation, und wir schenkten deshalb diesem Punkt unsere besondere Aufmerksamkeit.

Hofer, der übrigens in seinen Versuchen die angegebenen Veränderungen nie beobachten konnte, nahm an, daß diese Erscheinung durch zu schnelles Einstellen der gewählten Eichstufe zustande komme, indem der Apparat der raschen Einstellung nicht schnell genug zu folgen vermöge. Wir konnten aber in mehrmaligen Versuchen nie eine so starke Herabsetzung der Zackengröße erreichen.

Dagegen konnten wir bei einem Pat. unmittelbar nach starker Belastung ohne Maske in der ersten Ableitung eine Verkleinerung von QRS bis auf ein Viertel der Ruhegröße feststellen; R war dabei stellenweise ganz verschwunden, stellenweise sehr niedrig und verplumpt, S mehr oder weniger stark verkürzt. Bei der Aufnahme der II. Ableitung waren die Zacken wieder zur normalen Größe zurückgekehrt; in Abl. III blieben die Ausschläge im Vergleich zum Ruhe-Ekg. etwas größer. Im entsprechenden Versuch mit der Gasmaske trat die Verkleinerung in Ableitung I wiederum auf, jedoch bedeutend weniger ausgeprägt, und die Vergrößerung der Ausschläge in Abl. III ließ die Annahme zu, daß es sich um eine positionsbedingte Veränderung handle, um so mehr, als in der Kurve sonst irgendwelche pathologische Abweichungen nicht nachzuweisen waren.

Der bei dem Pat. vorgenommene Kontrollversuch zeigte im Bereich des Normalen liegende Größenschwankungen von QRS, so daß mit großer Wahrscheinlichkeit darauf geschlossen werden konnte, daß es sich im ersten Versuch um eine – vielleicht durch die hohe Frequenz – bedingte vorübergehende Störung im Apparat gehandelt hatte.

Im übrigen fanden wir in den meisten Fällen nach Belastung mit und ohne Gasmaske keine Unterschiede in der Initialschwankung. In den übrigen Fällen bestanden die Veränderungen hauptsächlich in unerheblichen Schwankungen in der Zackengröße, ferner in dem verschieden stark ausgeprägten Auftreten von Stufen, Knotungen und Aufsplitterungen.

e) *Zwischenstück ST. Zettel* und *Fink* haben bei ihren Versuchen in 80% aller Fälle eine Senkung der ST-Strecke festgestellt. Wie schon erwähnt, unterließen es die beiden Autoren, den entsprechenden Arbeitsversuch auch ohne Maske auszuführen, so daß die Lageänderungen nicht unbedingt als durch die Maskenatmung hervorgerufen zu deuten sind; denn auch beim normalen Arbeitsversuch treten namentlich bei Vagotonikern mit gesunden Herzen geringgradige ST-Senkungen auf, denen man keine größere Bedeutung beimessen darf.

In unseren Versuchen traten nach dem Arbeitsversuch ohne Maske in 7 Fällen leichte Senkungen des Zwischenstückes in einzelnen Ableitungen auf. Diese hätten, wenn die Maskenatmung hypoxische Erscheinungen im Myokard hervorrufen würde, nach Belastung mit der Gasmaske deutlicher und verstärkt auftreten sollen. Wir konnten diese Wirkung aber in keinem Fall beobachten. Auch war bei keinem Pat., der im Arbeitsversuch ohne Maske ein normales Zwischenstück aufwies, unter der Maske eine Veränderung zu bemerken. Insbesondere wiesen diese Kurvenabschnitte bei den vier im Sklerosealter stehenden und maximal belasteten Versuchspersonen keine Unterschiede auf.

In einem Fall war die Senkung des Zwischenstückes nach dem Arbeitsversuch unter der Gasmaske weniger deutlich als im Versuch ohne Maske.

Den von *Plügge* und *Büttner* beschriebenen hohen Abgang bei jugendlichen Hypertonikern konnten wir in unserem Fall nicht bestätigen.

f) *Nachschwankung T.* Beim Vergleich der Herzstromkurven nach Belastung mit und ohne Gasmaske sind nur geringe Veränderungen der Nachschwankung zu erwähnen. Wo nach Arbeit ohne Schutzmaske eine Abflachung der T-Zacke aufgetreten war, erschien diese im Versuch mit aufgesetzter Maske keineswegs verstärkt, in drei Fällen sogar weniger deutlich ausgeprägt, und in einem Fall war sie nicht mehr vorhanden. Im übrigen kamen Größenunterschiede vor, die aber nur Bruchteile eines Millivolts betrugen.

Zusammenfassung. Bei 29 Personen beiderlei Geschlechts im Alter von 20 bis 61 Jahren wurde der Einfluß der Maskenatmung auf die Herzstromkurve in der Ruhe und nach starker Belastung untersucht. Die Versuche wurden zuerst ohne und dann mit der Maske in gleicher Weise vorgenommen. Die klinischen Beobachtungen sowie der Vergleich der beiden im Doppelversuch aufgenommenen Elektrokardiogramme ergaben folgende Ergebnisse:

1. Die Atmung in der Maske ist zumeist verlangsamt und vertieft, die Arbeitsdyspnoe nach Belastung verstärkt.

2. In 5 Fällen wurde bei Maskenatmung nicht dieselbe Arbeitsleistung erzielt wie bei unbehinderter Atmung; in den übrigen Fällen gelang dies nur mit erhöhter Willensanstrengung.

3. In der Ruhe ist die Pulsfrequenz unter der Gasmaske etwas beschleunigt, nach der Arbeit eher herabgesetzt.

4. Rhythmusänderungen sind in den Versuchen unter der Maske sowohl in der Ruhe wie auch nach Arbeit in einigen Fällen festgestellt worden und zwar hauptsächlich in Form der Vagusarrhythmie.

5. Extrasystolen, die auf die Maskenatmung zurückgeführt werden müßten, sahen wir in unseren Versuchen nie.

6. Geringe Veränderungen kamen sonst unter der Gasmaske in allen Kurvenabschnitten vor und waren von der Art, wie sie *Hofer* in seiner Arbeit auch beschrieben hatte: unwesentliche Verlängerung oder Verkürzung der Ueberleitungszeit PQ und der Dauer der Anfangsschwankung QRS, Schwankungen in der Größe der Vorhofzacken, des QRS-Komplexes und der Nachschwankung, Schwankungen in der Intensität von Aufsplitterungen sowie Lageänderungen von Stufen und Knotungen. Ein negatives P in Abl. III wurde gelegentlich unter der Maske positiv. Dasselbe gilt für ein negatives T in Abl. III.

7. Die Lageänderungen des Zwischenstückes gingen in unseren Versuchen nach starker Belastung auch bei den im Sklerosealter stehenden Versuchspersonen nicht über das normale Maß hinaus; eine verstärkte Abflachung

von T konnte im Arbeitsversuch in der Maske ebenfalls nicht beobachtet werden.

8. Die von *Plügge* und *Büttner* beschriebene Standardreaktion konnten wir nicht bestätigen, obwohl wir die Versuchspersonen unter maximaler Anstrengung arbeiten ließen und das Elektrokardiogramm schon wenige Sekunden nach der Arbeit registrierten. Auch das von den gleichen Autoren beschriebene Auftreten einer Koronarwelle bei jugendlichen Hypertonikern wurde nicht gesehen.

9. Die Untersuchungen ergaben keinen Anhaltspunkt dafür, daß die Sauerstoffversorgung des Herzens während der Atmung unter der Gasmaske auch bei starker – allerdings nicht extremer – Belastung ungenügend sei.

II. Der Einfluß der Maskenatmung auf das Ergebnis einer Kreislauffunktionsprüfung

1. Allgemeine Vorbemerkungen. Neben der genauen Analyse der Herzstromkurve vermag uns auch die Funktionsprüfung des Kreislaufs Anhaltspunkte über einen durch die Maske bedingten Sauerstoffmangel zu geben. So wie beim Kreislaufinsuffizienten muß nämlich, falls die Gasmaskenatmung nur eine mangelhafte Versorgung des Organismus mit Sauerstoff zuläßt, zufolge der größeren Sauerstoffschuld (debt) nach Belastung eine stärkere und länger anhaltende Kreislaufreaktion eintreten. Es ist zu betonen, daß schon zufolge des Energieverbrauches in der Gasmaske (erhöhte Atemkraft wegen Filter und Pendelatmung) eine verstärkte Reaktion von Blutdruck, Pulsfrequenz und Atmung innerhalb gewisser Grenzen zu erwarten ist. Nicht zu vergessen sind auch die psychischen Einflüsse, die namentlich die Pulszahl, aber auch den Blutdruck zu beeinflussen vermögen.

2. Methodik. Für die Untersuchung des Einflusses der Maskenatmung auf das Ergebnis der Kreislauffunktionsprüfung bedienten wir uns der Methode der Messung der Puls- und Atemfrequenz sowie des systolischen und diastolischen Blutdruckes in der Ruhe und nach einer dem Individuum angepaßten Arbeitsleistung.

Zunächst wurden die betreffenden Werte am stehenden Pat. in der Ruhe und ohne Maske viermal innerhalb 5 Minuten bestimmt. Dann hatte der Pat. eine ihm angemessene Arbeit zu vollbringen, worauf sofort und innerhalb jeder folgenden Minute bis 10 Minuten nach Belastung die Messungen wiederholt wurden.

Die ganze Versuchsanordnung wurde nach vollständiger Erholung in der Gasmaske wiederholt.

Als Arbeitsversuch wählten wir das Stuhlsteigen in einer durch ein Metronom vorgeschriebenen Frequenz und von 2 bis 5 Minuten Dauer. Damit war die in beiden Belastungsversuchen übereinstimmende Leistung, die Vorbedingung für einen genauen Vergleich, gewährleistet.

3. Untersuchungsmaterial. Die Untersuchungen wurden an 15 gesunden Männern im Alter von 20 bis 32 Jahren, welche mit 2 Ausnahmen an das Tragen der Gasmaske gewöhnt waren, vorgenommen.

4. Beurteilung einer Funktionsprüfung. Die Reaktion eines gesunden Herzens besteht in raschem und maximalem Anstieg des Blutdruckes, der Atem- und Pulsfrequenz.

Der Anstieg der Pulsfrequenz ist für die Beurteilung der Herzfunktion nicht maßgebend, da er hauptsächlich neuro-vegetativ bestimmt und auch psychisch am stärksten beeinflußt wird. Etwas mehr sagt uns die Erholungszeit; oft sinkt aber die Pulszahl nicht in der gewohnten Zeit auf den Ruhewert ab, ohne daß wir deshalb eine Funktionsstörung annehmen müßten. Die Erholungszeit der Pulsfrequenz ist in erheblichem Maße von extrakardialen Faktoren abhängig.

Die Atmung ist von psychischen Einflüssen weniger abhängig; eine länger dauernde Beschleunigung der Atemfrequenz nach Arbeit ist ein Hinweis auf Herzschädigung bzw. Herzinsuffizienz. Ein Absinken des systolischen Blutdruckes nach Belastung spricht für schweren Myokardschaden. Der verzögerte Blutdruckanstieg oder ein Verweilen desselben auf gleicher Höhe (Plateaubildung nach *Less*) soll als Zeichen leichten Herzschadens gelten.

5. Untersuchungsergebnisse

a) *Beurteilung der Funktionsprüfungen ohne Maske.* Mit Ausnahme von drei Fällen zeigten alle Versuchspersonen eine normale Kreislaufreaktion.

Bei einem der als abnorm befundenen Fälle waren bei der Messung des Blutdruckes die Plateaubildung nach *Less* und ein unverhältnismäßig hoher Anstieg von Puls- und Atemfrequenz festzustellen. Die verzögerte Blutdrucksenkung blieb dann im Versuch mit aufgesetzter Gasmaske aus.

Bei einer zweiten Versuchsperson offenbarte sich eine periphere Kreislaufstörung darin, daß nach Arbeit der diastolische Druck vorübergehend stark absank.

Bei einem dritten Pat. endlich, bei dem während der im Stehen vorgenommenen Messung der Ruhewerte der diastolische Druck beständig abnahm, ergab die nähere Untersuchung das Vorhandensein von Varizen, so daß angenommen werden muß, daß ein Teil des Blutes dorthinein versackte.

b) *Beeinflussung von Blutdruck, Puls- und Atemfrequenz durch die Maske in Ruhe* (Abb. 4). Als Ergänzung zu der graphischen Darstellung der Veränderungen in der Atemfrequenz ist noch zu erwähnen, daß zu der Verlangsamung meist auch eine deutliche Vertiefung der Respiration hinzukam. Es dürfte sich hierbei z. T. um die Auswirkung der Kohlensäureanreicherung im Totraum der Gasmaske handeln; auch an eine reflektorische Reaktion auf die Stenose ist zu denken. Zum andern Teil bedeutet die Verlangsamung und Vertiefung der Atmung vielleicht auch eine bewußte Steuerung, da dadurch die Druckschwankungen und das damit verbundene Angst- und Erstickungsgefühl weitgehend herabgemindert werden können. Jedenfalls ist bezeichnend, daß es vorwiegend Ungeübte sind, die eine beschleunigte und eher oberflächliche Atmung aufweisen.

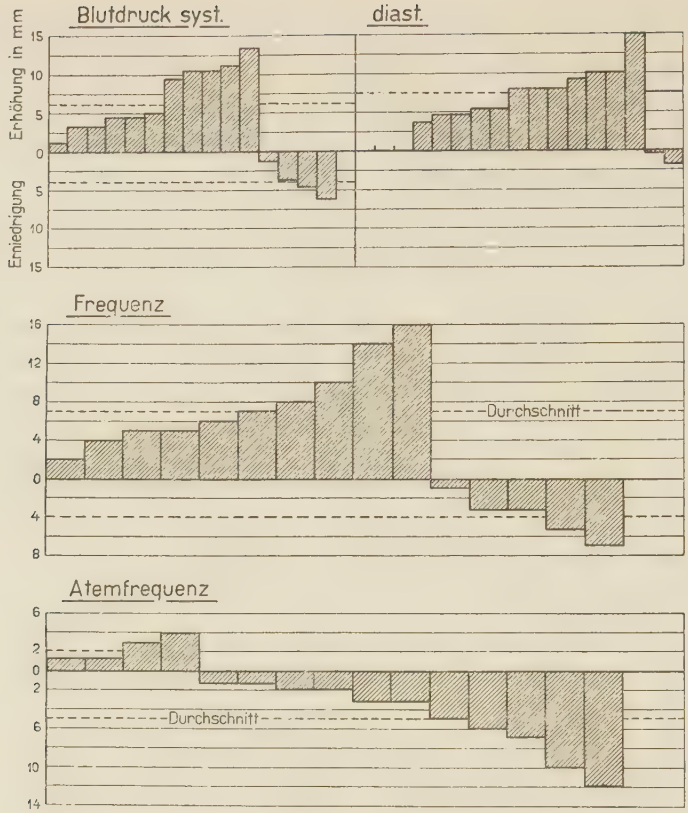

Abb. 4. Beeinflussung von Blutdruck, Puls- und Atemfrequenz durch die Maske in Ruhe.

Die Abbildung zeigt die Ergebnisse, wobei wiederum, wie in Abb. 1, nach oben gerichtete Säulen höhere Werte mit Maske bedeuten. Es ergibt sich im Durchschnitt eine leichte Erhöhung des Blutdruckes und der Pulsfrequenz und eine Abnahme der Atemfrequenz.

Anmerkung. Die unterbrochene Linie gibt die durchschnittliche Erhöhung resp. Erniedrigung an.

c) *Blutdruck, Puls- und Respirationsfrequenz unter der Maske nach Belastung* (Abb. 5 u. 6). Der *systolische* wie auch der *diastolische Blutdruck* zeigten nach Belastung in einigen Versuchen einen Verlauf, der demjenigen im Versuch ohne Maske annähernd parallel ging. In andern Versuchen dagegen waren Unterschiede nach oben und nach unten von den entsprechenden Werten ohne Maske festzustellen. Die Unterschiede nach oben und unten lagen zu den verschiedenen Messungsterminen zumeist unterhalb 15 mm Hg. Größere Unterschiede traten vor allem unmittelbar nach der Be-

lastung auf. In einem Falle war der systolische Blutdruck 40, in einem zweiten[6]) sogar 60 mm Hg höher, doch näherten sich die Werte dann rasch denjenigen aus dem Versuch ohne Maske.

Die *Pulsfrequenzen* aus den Versuchen mit und ohne Gasmaske verliefen mit Differenzen von zumeist weniger als 10 Schlägen nach oben und nach unten teils fast parallel, teils waren sie innerhalb der einzelnen Versuche bald gesenkt, bald erhöht. Größere Frequenzunterschiede traten wieder unmittelbar nach Arbeit auf. Eine durchgehende Verlangsamung der Frequenz im Vergleich zu dem ohne Maske ausgeführten Versuch war in zwei

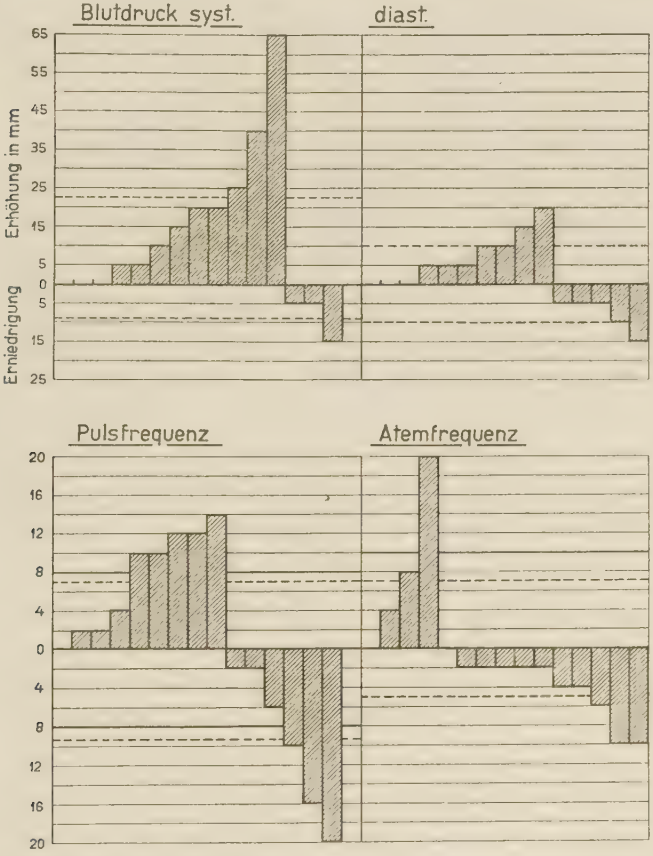

Abb. 5. Beeinflussung von Blutdruck, Puls- und Atemfrequenz sofort nach Belastung.
Auffallend ist die teilweise erhebliche Steigerung des systolischen Blutdruckes unmittelbar nach Arbeit unter der Maske. Die Atemfrequenz ist in der Mehrzahl der Fälle herabgesetzt.

[6]) Der betreffende Pat. wies deutliche Zeichen vegetativer Stigmatisation auf.

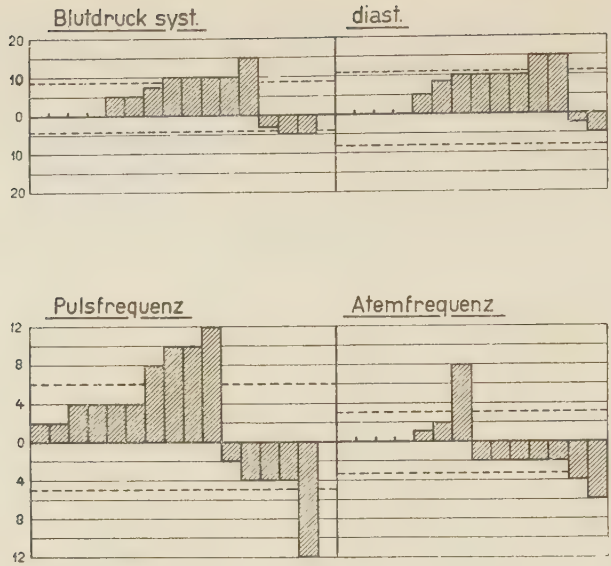

Abb. 6. Beeinflussung von Blutdruck, Puls- und Atemfrequenz 6 Minuten nach Belastung.

Blutdruckwerte und Pulsfrequenz zeigen nach 6 Minuten im Mittel noch eine geringe Erhöhung im Vergleich zu den Werten ohne Maske. Die Atemfrequenz ist meist verlangsamt.

Fällen festzustellen (Vagus?). Die Pulsfrequenz ging in allen Fällen innert normaler Frist auf Werte zurück, die als normal bezeichnet werden dürfen.

Die *Atemfrequenzen* lagen zu den verschiedenen Messungszeiten in der Mehrzahl der Fälle unter den entsprechenden Werten aus dem Versuch ohne Maske. Eine durchgehende Frequenzsteigerung kam bei zwei Untrainierten zur Beobachtung. Die Differenzen betrugen mit Ausnahme der Werte unmittelbar nach Belastung 2 bis 10 Atemzüge pro Minute. In wenigen Fällen verliefen die Werte annähernd parallel; meist kamen größere Unregelmäßigkeiten vor. Die Erholungszeiten verliefen durchaus normal.

Zusammenfassung. Die Untersuchung des Einflusses der Maskenatmung auf das Ergebnis einer Kreislauffunktionsprüfung wurde an 15 gesunden Personen im Alter von 20 bis 32 Jahren vorgenommen und ergab Folgendes:

1. In der Ruhe wird sowohl der systolische als auch der diastolische Blutdruck durch Atmung unter der Maske durchschnittlich leicht gesteigert.

2. Der systolische Blutdruck pflegt sofort nach Arbeit vorübergehend stark anzusteigen. Im Mittel beobachtet man auch später eine geringe Drucksteigerung, doch liegen die Unterschiede meist unterhalb 15 mm Hg.

3. Die Pulsfrequenz ist in der Ruhe unter der Maske bei der Mehrzahl der Fälle etwas erhöht. Nach Belastung sind die Unterschiede geringer. Die Pulsfrequenz geht innert angemessener Zeit auf Werte zurück, die als normal bezeichnet werden dürfen.

4. Die Atmung ist sowohl in der Ruhe als auch im Arbeitsversuch unter der Maske in den meisten Fällen verlangsamt und nur selten – und dann vornehmlich bei Ungeübten – beschleunigt.

III. Die atemphysiologische Bedeutung von Filterstenose und Totraumvermehrung und das Minutenvolumen der Atmung unter der Maske

Die Atmung durch die Gasmaske ist in zwei Punkten beeinträchtigt, die sich atemphysiologisch ganz verschieden auswirken und daher gesondert betrachtet werden müssen. Das vorgeschaltete Filter wirkt im Sinne eines Atemhindernisses, einer Stenose, und das vorgeschaltete Volumen der Maske bis zu den Ventilen im Sinne einer Vermehrung des schädlichen Raumes.

Zur Kompensation der Stenose muß die Kontraktionskraft der Atemmuskulatur gesteigert werden. Ist durch diese Steigerung trotz der Stenose das Atemminutenvolumen wieder auf die Norm gebracht, so ist die Sauerstoffversorgung und die Kohlensäureausscheidung des Körpers gewährleistet und eine Steigerung des Atemminutenvolumens ist nicht nötig und auch nicht zu erwarten. Die Steigerung der Atemkraft erfolgt auf dem Weg über die propriozeptive Steuerung der Atmung (*Fleisch*), also auf dem Weg über das Atemzentrum, aber rein reflektorisch, ohne Beteiligung der chemischen Atemsteuerung.

Die Erhöhung des Totraums dagegen wirkt ganz anders. Um sie zu kompensieren, muß das Minutenvolumen der Atmung erhöht werden, was auf dem Weg über die chemische Atmungssteuerung durch leichte Erhöhung der Kohlensäurespannung im arteriellen Blut erfolgt.

Eine leichte Stenose braucht sich nach den Arbeiten von *Fleisch* an Atemtiefe und Atemfrequenz nicht bemerkbar zu machen, die Kompensation kann ausreichen, um mit normaler Frequenz und Tiefe genügende Ventilation zu bewirken. Stärkere und dauernd bleibende Stenosen werden aber wohl zu einer Umstellung der Atominnervation im Sinne einer vertieften Atmung führen. Ob die von uns beobachtete Vertiefung der Atmung unter der Maske (s. oben) darauf zurückzuführen ist oder auf chemische Beeinflussung des Atemzentrums (direkt oder reflektorisch über den Karotissinus), ließ sich nur durch Bestimmung des Minutenvolumens der Atmung unterscheiden.

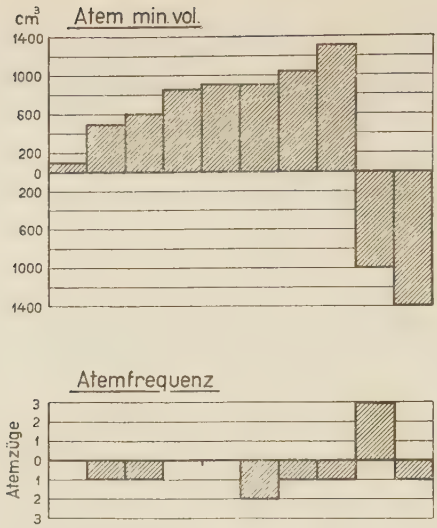

Abb. 7. Einfluß des Maskentotraumes auf das Atemminutenvolumen.

Die Säulen nach oben bedeuten Zunahme des Atemminutenvolumens unter der Gasmaske im Vergleich zu den Werten beim Totraum von 30–40 ccm und umgekehrt. Darunter entsprechend die Veränderung der Atemfrequenz.

Wir bestimmten die Atemminutenvolumina[7]) bei 10 Versuchspersonen zuerst bei einem Totraum von 30 bis 40 ccm und dann bei demjenigen der Militärgasmaske[8]). Abb. 7 zeigt die Ergebnisse in graphischer Darstellung. Es ergab sich in der Mehrzahl der Fälle ein leicht vergrößertes Atemminutenvolumen, das durch Vertiefung der Atemzüge erreicht wurde, indem die Atemfrequenz fast unverändert blieb. Es kann dies nur als Folge erhöhter Kohlensäurespannung gedeutet werden.

Es ist bekannt, daß die Reaktion des Atemzentrums auf Kohlensäure sich zuerst in Vertiefung und erst später auch in Beschleunigung der Atmung auswirkt. Die beobachtete Atemänderung wird also als erste Phase der Umstellung bei Kohlensäureanhäufung zu deuten sein.

Es sei darauf hingewiesen, daß im Fall der Totraumerhöhung die Steigerung des Atemminutenvolumens durch Atmungsvertiefung erheblich zweckmäßiger ist als durch Frequenzerhöhung, wie eine einfache Rechnung zeigt. Ein Minutenvolumen von 5 Litern mit 500 ccm Atemtiefe und einer Frequenz von 10 pro Minute sei ausreichend bei einem Totraum von 140 ccm. Dann wird pro Minute $10 \times (500–140) = 3600$ ccm Frischluft in

[7]) Herrn Prof. v. *Muralt* danke ich für die Ueberlassung einer Gasuhr bestens. Ebenso danke ich Herrn Dozent *Wilbrandt* für seine Unterstützung bei meinen Untersuchungen.

[8]) Deren Totraum mit 150–250 ccm angegeben wird.

die Lunge gebracht. Steigt der Totraum auf 300 ccm, so müßte die Frequenz auf 18 und das Minutenvolumen auf 9,0 Liter zunehmen, um den gleichen Frischlufttransport zu ermöglichen (18 × [500–300] = 3600). Steigert man dagegen die Atem*tiefe* bei gleicher Frequenz, so genügt eine Erhöhung der Respirationsluft von 500 ccm auf 600 ccm, d. h. eine Steigerung des Minutenvolumens auf 6,6 Liter, um die gleiche Ventilationssteigerung zu erzielen (10 × [660–300] = 3600).

Der Totraum kann bei Maskenatmung u. U. noch stärker vermehrt sein als um den erwähnten Betrag des Volumens der Maske bis zu den Ventilen. Es kann außerdem noch das Volumen des Schlauches und des Filters als zusätzlicher Totraum wirken, nämlich dann, wenn das Einatmungsventil, welches nur während der Inspiration geöffnet ist, während der ganzen Exspiration aber dicht schließen sollte, nicht einwandfrei funktioniert. Dies kann, wie *Gukelberger*[9]) fand, bei horizontaler Rückenlage des Maskenträgers eintreten. Diese Tatsache erklärt übrigens am besten die anläßlich unserer elektrokardiographischen Untersuchungen gemachte Beobachtung, daß die Patienten jedesmal nach dem Abliegen auf den flachen Untersuchungstisch eine starke Zunahme der Arbeitsdyspnoe aufwiesen, die sich oft bis zum Erstickungsgefühl steigerte.

Bei undichtem Einatmungsventil wird übrigens nicht nur der Totraum größer, sondern das Filter nimmt zudem noch Wasserdampf und Kohlensäure auf; durch den Wasserdampf wird das Filter naß, wodurch dessen Widerstand vergrößert wird. Unter diesen Bedingungen, unter denen sich der Stenose- und der Totraumfaktor in gefährlicher Weise kombinieren, ist das Auftreten einer Hypoxie wohl möglich, wobei wiederum Koronarkranke besonders gefährdet erscheinen. Auch beim Vorhandensein einer Lungenstauung, einer Silikose, zirrhotischen Tuberkulose, Pulmonalsklerose und Pneumonose, bei Lungenerkrankungen also, bei denen ohnehin der Gasaustausch reduziert ist, könnte die Maskenatmung unter ungünstigen Bedingungen hypoxische Erscheinungen nach sich ziehen.

Die alte schweizerische Militärgasmaske, mit der *Rohrer* am Ende des letzten Krieges seine Kreislaufuntersuchungen vornahm, bestand aus Filter, Verbindungsstück und Gesichtsmaske ohne Ein- und Ausatmungsventil, wies also einen weitaus größeren Totraum auf als das moderne Schutzgerät. Sie hatte zwar den Vorteil, daß das Filter durch die Ausatmungsluft durchspült und von den noch nicht adsorbierten Gasbestandteilen gereinigt wurde, andererseits kam es in dem großen Pendelraum zu einer Kohlensäureanreicherung, die das zwei- bis dreimal größere Atemminutenvolumen in Ruhe unter der Maske durchaus verständlich macht. Zudem war in dieser Maske nicht nur das Inspirium, sondern auch das Exspirium durch die Filterstenose erschwert, so daß sich die hieraus resultie-

[9]) Laut mündlicher Mitteilung.

rende Kreislaufbelastung (s. unten) bedeutend ungünstiger auswirken mußte. *Rohrer* beobachtete denn auch schon nach kurzdauernder Belastung eine erheblich stärkere Reaktion des Atem- und Kreislaufsystems, welche auch langsamer abklang als normalerweise.

Bei den erhöhten Atemwiderständen in der Gasmaske ist auch an eine direkte Kreislaufwirkung zu denken. Die Druckschwankungen in der Gasmaske betragen in Ruhe inspiratorisch 3 bis 4 cm, exspiratorisch 1,5 bis 2 cm Wasser, bei Arbeitsdyspnoe können sie bis zu 32 cm inspiratorisch und 7 bis 8 cm Wasser exspiratorisch ansteigen. *Thiel*, *Ruhnau* und *Gerlach* fanden zunächst überraschenderweise, daß mit zunehmendem inspiratorischem Atemwiderstand innerhalb gewisser Grenzen die Sauerstoffaufnahme in den Alveolen ansteigt. Sie machen dafür eine erhöhte Blutströmungsgeschwindigkeit, die pro Zeiteinheit eine Vermehrung der Erythrozyten in den Lungenkapillaren bedingt, verantwortlich. Nach den Autoren bewirkt der Widerstand des Maskenfilters in Ruhe ungefähr das Optimum der Sauerstoffresorption.

Die erhöhte Strömungsgeschwindigkeit im kleinen Kreislauf ließ sich durch vermehrte Füllung des rechten Herzens – Erleichterung des venösen Rückflusses und der Diastole zufolge des verstärkten negativen Druckes im Pleuraraum während der Inspiration – erklären.

Man hat in neuerer Zeit Vorschläge für eine möglichst arbeitsökonomische Atmung in der Gasmaske, besonders im Falle von Arbeit, gemacht. Bei bloßer Frequenzsteigerung wird ein Teil der größenordnungsmäßig nicht zu unterschätzenden Atemarbeit umsonst geleistet, weil die Verweildauer der Luft in den Lungenalveolen zu kurz ist, um eine entsprechende Ausnützung der Atemluft zu gewährleisten (*Löhner*). Zum Teil wird die Ansicht vertreten, daß eine tiefe und langsame, also natürliche Atmung, für ausreichenden Luftwechsel genügt (vergl. dazu die oben angestellte Berechnung!). Andere Autoren treten für einen bestimmten Atemtypus in Anlehnung an die sog. «Bergsteigeratmung» ein. Dabei wird ein Schritt lang ein- und drei Schritte lang ausgeatmet. Diese die Ausatmung schulende Technik wird auch als Hilfsfaktor für die Blutbeförderung empfohlen. Durch disziplinierte, vertiefte und verlangsamte Atmung kann jedenfalls der Energiemehrverbrauch des Organismus, somit die Mehrbelastung für das Herz und die damit verbundene Hypoxiegefahr vermindert werden.

Zusammenfassung. 1. Koronarkranke Herzen sind wegen der zu leistenden Mehrarbeit unter der Maske für das Auftreten von Angina pectoris disponiert.

2. Die Gefahr der Hypoxie besteht in noch gesteigertem Maße bei zusätzlicher Vergrößerung des Totraumes durch mangelhaften Schluß des Einatmungsventils, besonders bei Lungenerkrankungen, die den Gasaus-

tausch reduzieren (Pneumonose, Pulmonalsklerose), ferner bei oberflächlicher und kleiner Atmung (Schlaf) und heftigem Husten.

3. Es wird auf die Möglichkeit einer direkten Kreislaufwirkung durch erhöhten inspiratorischen Widerstand hingewiesen.

4. Auf die Wichtigkeit einer möglichst arbeitsökonomischen Atmung in der Gasmaske wird Gewicht gelegt.

Zusammenfassung der Untersuchungergebnisse

I. An 29 Versuchspersonen beiderlei Geschlechts im Alter von 20 bis 61 Jahren wurde der Einfluß der Gasmaskenatmung auf die Herzstromkurve untersucht. Die Versuche wurden zuerst ohne und dann mit aufgesetzter Gasmaske durchgeführt. Aus dem Vergleich der beiden Elektrokardiogramme ergab sich somit der Unterschied, der durch die Maskenatmung bedingt war.

Im Elektrokardiogramm traten unter Maskenatmung geringfügige Veränderungen in allen Kurvenabschnitten auf. Das Ruheelektrokardiogramm reagierte bei Maskenatmung mit Veränderungen, wie wir sie bei leichter Arbeitsleistung zu sehen gewohnt sind. Die Arbeitselektrokardiogramme unterschieden sich nur wenig voneinander. Insbesondere waren keine Veränderungen nachzuweisen, die auf Sauerstoffmangel bzw. Koronarinsuffizienz hinweisen.

II. Bei 15 gesunden Personen im Alter von 20 bis 32 Jahren wurde der Einfluß der Maskenatmung auf den Ausfall einer Kreislauffunktionsprüfung untersucht.

Das Verhalten von Pulsfrequenz und Blutdruck in Ruhe unter der Maske sprach im allgemeinen dafür, daß die Maskenatmung gegenüber der gewöhnlichen Atmung eine geringe Mehrarbeit erfordert. Nach Belastung war die Reaktion von Blutdruck und Pulsfrequenz weniger einheitlich. Der systolische Blutdruck konnte unmittelbar nach Arbeit eine erhebliche Steigerung erfahren, doch ließen sich aus dem Verhalten der Funktionsprüfungen keine Anhaltspunkte für mangelhafte Sauerstoffversorgung ableiten. Die Atmung zeigte in den meisten Fällen eine deutliche Vertiefung und Verlangsamung.

III. Das Minutenvolumen der Atmung in Ruhe wurde bei 10 Versuchspersonen mit und ohne Maske bestimmt. Es fand sich in der überwiegenden Mehrzahl der Versuche eine Zunahme des Minutenvolumens.

IV. Wenn auch in den Versuchen I–III Zeichen einer mangelhaften Sauerstoffversorgung unter der Gasmaske nicht beobachtet wurden, so fanden sich doch eine Reihe von Anzeichen dafür, daß der Körper durch die Maskenatmung zu kompensierenden Aenderungen in Kreislauf und Atmung veranlaßt wird, wie sie durch Kohlensäureanhäufung ausgelöst werden. Daraus ist der Schluß zu ziehen, daß er unter der Maske bei gleicher hochgradiger Beanspruchung früher an die Grenze der verfügbaren

Reserven kommen wird als ohne Maske. Daß darin eine erhöhte Gefahr für Koronargefährdete liegt, ist nicht von der Hand zu weisen. Andererseits soll sie bei guten Masken nicht überschätzt werden, denn die atemphysiologische Spanne zwischen Maskenatmung und freier Atmung ist nach unseren Versuchen nicht groß. Schlechte Ventile erhöhen die Gefahr beträchtlich. Durch zweckmäßige, langsame und tiefe Atmung kann sie herabgesetzt werden, da Erhöhung der Atemtiefe viel ökonomischer wirkt als Erhöhung der Frequenz.

Fleisch, A.: Erg. Physiol. **36,** 249 (1934). – *Hofer, H.:* Cardiologia **1940,** 331. – *Löhner, L.:* Wien. klin. Wschr. **1937,** 749. – *Lucke, H.:* Dtsch. med. Wschr. **1937,** 1797. – *Plügge, H.* und *Büttner, H. E.:* Dtsch. med. Wschr. **1937,** 464. – *Zettel, H.* und *Fink, A.:* Klin. Wschr. **1939,** 458. – *Zettel, H.:* Klin. Wschr. **1941,** 1244.